



19 BUNDESREPUBLIK
DEUTSCHLAND



DEUTSCHES
PATENT- UND
MARKENAMT

12 **Offenlegungsschrift**
10 **DE 198 32 157 A 1**

51 Int. Cl. 7:
H 02 K 1/18
H 02 K 19/00

21 Aktenzeichen: 198 32 157.0
22 Anmeldetag: 17. 7. 1998
4 Offenlegungstag: 20. 1. 2000

DE 198 32 157 A 1

71 Anmelder:
ITT Mfg. Enterprises, Inc., Wilmington, Del., US

74 Vertreter:
Dreiss, Fuhlendorf, Steimle & Becker, 70188
Stuttgart

72 Erfinder:
Gakenholz, Werner, 74321 Bietigheim-Bissingen,
DE

56 Für die Beurteilung der Patentfähigkeit in Betracht
zu ziehende Druckschriften:

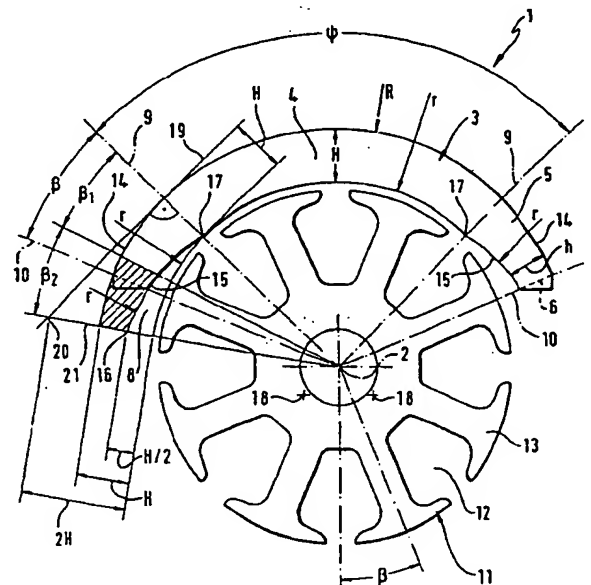
DE 40 27 091 C2
DE 36 20 297 C2
DE 41 09 729 A1
DE 40 25 754 A1
DE 35 23 755 A1
DE 93 12 375 U1
FR 27 34 101 A1
WO 96 38 900 A1

JP 57-148566 A., In: Patents Abstracts of Japan,
E-147, Dec. 10, 1982, Vol. 6, No. 251;

Die folgenden Angaben sind den vom Anmelder eingereichten Unterlagen entnommen

54 Elektrische Maschine

57 Die Erfindung betrifft eine elektrische Maschine (1) zum Umwandeln mechanischer in elektrische Energie oder umgekehrt, mit einem um eine Drehachse (2) rotierbar gelagerten Anker (11), der mehrere rotationssymmetrisch um die Drehachse (2) angeordnete, durch Nuten (12) voneinander getrennte und in der Rotationsebene liegende Ankerzähne (13) aufweist, und mit einem Stator, der kreisbogenförmige Magnete (3) aufweist, die den Anker (11) von außen umgeben. Um derartige elektrische Maschinen (1) dahingehend weiterzubilden, dass das Nutdrehmoment entscheidend reduziert werden kann, ohne dadurch jedoch die maximale Leistung der elektrischen Maschine (1) zu vermindern, schlägt die Erfindung vor, dass die Magnete (3) jeweils einen Mittelbereich (4) mit einer konstanten Magnetdicke (H) aufweisen, der in tangentialer Richtung zu beiden Seiten jeweils in einen Flankenbereich (5) übergeht, der zu seinem äußeren Ende (6) hin eine abnehmende Magnetdicke (h) aufweist, und dass die Mittelbereiche (4) der Magnete (3) jeweils zu den Flankenbereichen (5) hin durch imaginäre, die Drehachse (2) rechtwinklig schneidende Grenzlinien (9) begrenzt sind, die einen Mittelbereichswinkel (Ψ) einschließen, der gleich dem Winkel einer Nutteilung des Ankers (11) oder einem Vielfachen des Winkels einer Nutteilung ist.



DE 198 32 157 A 1

Die vorliegende Erfindung betrifft eine elektrische Maschine zum Umwandeln mechanischer in elektrische Energie oder umgekehrt, mit einem um eine Drehachse rotierbar gelagerten Anker, der mehrere rotationssymmetrisch um die Drehachse angeordnete, durch Nuten voneinander getrennte und in der Rotationsebene liegende Ankerzähne aufweist, und mit einem Stator, der kreisbogenförmige Magnete aufweist, die den Anker von außen umgeben.

Der Stator dieser Maschinen weist üblicherweise eine gerade Anzahl kreisbogenförmiger Magnete aus einem Hartferri-Material auf. So sind beispielsweise elektrische Maschinen mit zwei oder vier Magneten bekannt, sogenannte zwei- oder vierpolige Ausführungsformen.

Der Anker dieser bekannten Maschinen weist üblicherweise eine gerade Anzahl von Ankerzähnen und damit auch eine gerade Nutenzahl auf. Die Anzahl von Ankerzähnen und Nuten kann aber auch ungerade sein, es sind sogar elektrische Maschinen bekannt, insbesondere Gleichstrom-Kleinmotoren mit lediglich einem Ankerzahn. Die Ankerzähne der bekannten elektrischen Maschinen sind in der Regel T-förmig ausgebildet.

Es sind elektrische Maschinen bekannt, die Magnete mit einer in radialer Richtung konstanten Magnetdicke aufweisen. Dabei ist der Abstand in radialer Richtung zwischen der Außenkante des Ankers und den Innenkanten der Magnete konstant. Derartige Maschinen haben jedoch den Nachteil, dass sich der magnetische Fluss an den in tangentialer Richtung äußeren Enden der Magnete schlagartig ändert. Das führt dazu, dass sich der Anker ruckartig bewegt und der Anker beim Drehen um die Drehachse sozusagen zwischen einer Nut und der nächsten weiterspringt. Diese äußerst störende Eigenschaft wird als Nutdrehmoment bezeichnet. Das Nutdrehmoment ist ein Drehmoment, das bei der Rotation des Ankers um die Drehachse auftritt und sich als Funktion des Drehwinkels entsprechend der Nutenzahl periodisch wiederholt.

Um das Nutdrehmoment zu reduzieren, ist es aus dem Stand der Technik bekannt, die einzelnen Ankerbleche des Ankers nicht unter gleichem Winkel, sondern leicht gegeneinander versetzt aufeinanderzupressen, so dass der fertige Anker geschrägte Nuten aufweist. Diese Maßnahme bedeutet jedoch einen erheblichen Aufwand bei der Herstellung der Ankerbleche und beim Zusammensetzen des Ankers und kann nicht zu einer befriedigenden Reduzierung des Nutdrehmoments führen.

Zur Reduzierung des Nutdrehmoments ist es aus dem Stand der Technik des weiteren bekannt, die Dicke der Magnete an den in tangentialer Richtung äußeren Enden der Magnete zu reduzieren. Dazu wird die radial nach innen gerichtete kreisbogenförmige Kontur der Magnete zu den äußeren Enden hin abgeflacht. Elektrische Maschinen mit derart abgeflachten Magneten haben zwar ein reduziertes Nutdrehmoment, sie weisen aber andere Nachteile auf. So erreicht der magnetische Fluss lediglich genau in der Mitte der abgeflachten Magnete, wo diese noch ihre ursprüngliche Magnetdicke aufweisen, einen zufriedenstellenden Wert. Bereits bei einer geringfügigen Auslenkung aus dieser Mittelstellung weisen diese Magnete einen reduzierten magnetischen Fluss auf, der an den äußeren Enden der Magnete seinen kleinsten Wert erreicht. Insgesamt weisen elektrische Maschinen mit derart abgeflachten Magneten einen geringen magnetischen Fluss auf. Da der magnetische Fluss jedoch ein wichtiger Faktor für die maximale Leistung einer elektrischen Maschine ist, haben diese elektrischen Maschinen auch eine geringere maximale Leistung. Um diesen Leistungsverlust auszugleichen, müssen die elektrischen Maschinen mit derart abgeflachten Magneten größer dimensioniert werden.

Der vorliegenden Erfindung liegt daher die Aufgabe zugrunde, eine elektrische Maschine der eingangs genannten Art dahingehend weiterzubilden, dass die vorgenannten Nachteile beseitigt werden und daß insbesondere das Nutdrehmoment entscheidend reduziert wird, ohne dass es zu einem Leistungsverlust der elektrischen Maschine kommt.

Die erfindungsgemäße elektrische Maschine löst die voranstehende Aufgabe durch die Merkmale des Patentanspruches 1. Danach ist die eingangs bereits erörterte gattungsbildende elektrische Maschine derart weitergebildet, dass die Magnete jeweils einen Mittelbereich mit einer konstanten Magnetdicke aufweisen, der in tangentialer Richtung zu beiden Seiten jeweils in einen Flankenbereich übergeht, der zu seinem äußeren Ende hin eine abnehmende Magnetdicke aufweist, und dass die Mittelbereiche der Magnete zu den Flankenbereichen hin durch imaginäre, die Drehachse rechtwinklig schneidende Grenzlinien begrenzt sind, die einen Mittelbereichswinkel einschließen, der gleich dem Winkel einer Nutteilung des Ankers oder einem Vielfachen des Winkels einer Nutteilung ist.

Erfindungsgemäß ist erkannt worden, dass das Nutdrehmoment bei elektrischen Maschinen besonders gering ist, bei denen die Mittelbereiche der Magnete mit einer konstanten Magnetdicke jeweils einen oder mehrere Ankerzähne vollständig überdecken, d. h. bei denen die Mittelbereiche der Magnete in tangentialer Richtung jeweils von einer Nut genau zu der benachbarten oder einer der darauffolgenden Nuten reichen.

Aufgrund der in tangentialer Richtung zu den äußeren Enden der Flankenbereiche hin abnehmenden Magnetdicke weist die erfindungsgemäße elektrische Maschine eine geringe Steilheit des Magnetflussanstiegs an den äußeren Enden auf. Dadurch können die Drehmomentschwankungen stark reduziert werden. Außerdem führt die besondere Ausbildung der Magnete zu einer geringeren Funkstörspannung.

Durch den Einsatz eines Ankers mit geschrägten Nuten kann bei der erfindungsgemäßen elektrischen Maschine das Nutdrehmoment weiter reduziert werden. Andererseits erleichtert der Einsatz eines Ankers mit ungeschrägten Nuten die Herstellung der einzelnen Ankerbleche und das Aufeinanderpressen der Ankerbleche zur Herstellung des Ankers. Außerdem ist bei ungeschrägten Nuten im Gegensatz zu geschrägten Nuten der Einsatz von aus Kunststoff gespritzten Nutisolationen oder Papierisolationen problemlos möglich.

Aufgrund des reduzierten Nutdrehmoments ist die erfindungsgemäße elektrische Maschine besonders geräuscharm, da die Eigenanregung der elektrischen Maschine umschließenden Statorjochs und damit der Körperschall gering ist. Darüber hinaus unterliegt das Anzugsmoment der erfindungsgemäßen elektrischen Maschine in vorteilhafter Weise äußerst geringen Schwankungen. Dies ist besonders wichtig beim Einsatz der erfindungsgemäßen elektrischen Maschine als Fensterhebermotor. Dieser sollte nämlich stets ein vom Drehwinkel unabhängiges konstantes Drehmoment liefern, um eine zuverlässige Funktion eines Einklemmschutzes mittels Überwachung des Motorstroms sicherzustellen.

Die besondere Ausbildung der Magnete ist für alle Arten von elektrischen Maschinen vorteilhaft, unabhängig davon, ob sie eine gerade oder eine ungerade Nutenzahl aufweisen. Bei elektrischen Maschinen mit einem Anker mit ungerader Nutenzahl kann der Mittelbereichswinkel jedoch außer gleich dem Winkel einer Nutteilung des Ankers oder einem Viel-

fachen des Winkels einer Nutteilung auch gleich dem Winkel einer halben Nutteilung des Ankers oder einem vielfachen des Winkels einer halben Nutteilung sein.

Vorteilhafterweise ergibt sich die Abnahme der Magnetdicke der Flankenbereiche aus einer Vergrößerung des Abstands in radialer Richtung zwischen der Außenkante des Ankers und den Innenkanten der Magnete.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung wird vorgeschlagen, dass die Magnete im Mittelbereich einen Außenradius R und einen Innenradius r aufweisen, dass die Flankenbereiche zu den Magnetkanten hin durch imaginäre, die Drehachse rechtwinklig schneidende Verbindungslinien begrenzt sind, und dass die Grenzlinie und die Verbindungslinie jeweils eines Flankenbereichs einen Magnetkantenwinkel β einschließen, für den gilt:

Der Magnetkantenwinkel β ist vorzugsweise gleich dem Winkel einer halben Nutteilung des Ankers oder einem Vielfachen des Winkels einer halben Nutteilung. Dies bedeutet, dass bei einem Anker mit N Nuten der Magnetkantenwinkel $\beta = n \cdot 180^\circ / N$ beträgt, wobei n eine ganze positive Zahl ist. Dadurch kann das Nutdrehmoment weiter reduziert werden.

Bei dem maximalen Magnetkantenwinkel β_{\max} haben die Flankenbereiche der Magnete die geringste Magnetdicke h . In der

$$\beta_{\max} \geq \beta \geq \beta_{\min},$$

mit $\beta_{\max} = \arccos \left(\frac{1}{2 - \frac{r}{R}} \right)$ und

$$\beta_{\min} = \frac{1}{2} \cdot \arccos \left(\frac{1}{2 - \frac{r}{R}} \right)$$

Praxis hat sich gezeigt, dass eine Reduzierung der Magnetdicke h über $H/2$ hinaus keine wesentlichen Auswirkungen auf die elektrische Maschine bezüglich einer Reduzierung des Nutdrehmoments hat. Aus diesem Grund ist die Magnetdicke h der Magnete an den Magnetkanten der Flankenbereiche bei dem maximalen Magnetkantenwinkel β_{\max} vorteilhafterweise gleich der halben Magnetdicke H der Mittelbereiche der Magnete ($h(\beta = \beta_{\max}) = H/2$).

Vorteilhafterweise sind die Flankenbereiche der Magnete radial nach außen durch die Verlängerung der Kreisbogenlinie mit dem Außenradius R der Mittelbereiche begrenzt. Radial nach innen sind die Flankenbereiche der Magnete durch konkave Kreisbogenlinien mit dem Radius r begrenzt. Der Radius r der konkaven Kreisbogenlinien ist gleich dem Innenradius r der Mittelbereiche der Magnete.

Die konkaven Kreisbogenlinien verlaufen jeweils von einem ersten zu einem zweiten Punkt. Der erste Punkt ergibt sich, indem ein Schnittpunkt zwischen der Verlängerung der Kreisbogenlinie mit dem Außenradius R und der Verbindungslinie bei dem maximalen Magnetkantenwinkel auf der Verbindungslinie um die halbe Magnetdicke der Mittelbereiche radial nach innen verschoben wird. Der zweite Punkt ergibt sich aus dem Schnittpunkt der Kreisbogenlinie mit dem Innenradius r und der Grenzlinie.

Die vorgenannten Maßnahmen führen einzeln zu einer zum Teil erheblichen Reduzierung des Nutdrehmoments der erfindungsgemäßen elektrischen Maschine. Für eine größtmögliche Reduzierung des Nutdrehmoments empfiehlt sich eine Kombination von zwei oder mehreren der oben vorgeschlagenen Maßnahmen.

In tangentialer Richtung werden die Flankenbereiche durch Magnetkanten begrenzt. Die Kontur der Magnetkanten ist vorteilhafterweise dreiecksförmig ausgebildet. Dadurch ergeben sich Vorteile bei der Magnetherstellung und bei der Befestigung des Magnete. Die Kontur der Magnetkanten der Flankenbereiche kann aber auch kreisbogenförmig ausgebildet sein. Die kreisbogenförmige Kontur der Magnetkanten stellt den exakten mathematischen Kantenverlauf dar, der eine optimale Reduzierung des Nutdrehmoments ermöglicht. Selbstverständlich können diese kreisbogenförmigen Kantenverläufe ohne nennenswerte negative Folgen auf die Eigenschaften der elektrischen Maschine auch durch Geraden entsprechend angenähert werden.

Um die Reduzierung des Nutdrehmoments weiter zu optimieren, ist es außerdem vorteilhaft, wenn die Flankenbereiche eines Magneten spiegelsymmetrisch zueinander ausgebildet sind.

Die Vorteile der erfindungsgemäßen elektrischen Maschine kommen ganz besonders bei Elektromotoren, insbesondere bei Fensterhebermotoren für den Einsatz in Kraftfahrzeugen zum Tragen. Diese können dank des niedrigen Nutdrehmoments stets ein vom Drehwinkel unabhängiges konstantes Drehmoment liefern.

Dadurch wird eine zuverlässige Funktion des Einklemmschutzes mittels Überwachung der Stromaufnahme des Fensterhebermotors sichergestellt. Es ist jedoch auch denkbar, die erfindungsgemäße elektrische Maschine als Generator auszubilden.

Vorteilhafterweise bestehen die Magnete der erfindungsgemäßen elektrischen Maschine aus Hartferrit-Material oder aus Seltenerde-Material. Diese Materialien haben eine magnetische Permeabilität von annähernd 1. Magnete aus Hartferrit werden aus einem bestimmten Keramikmaterial gesintert und können deshalb auf einfache Weise in nahezu beliebigen Formen hergestellt werden.

Die vorliegende Erfindung betrifft auch ein Verfahren zum Bestimmen der Abmessungen von kreisbogenförmigen Magneten des Stators einer elektrischen Maschine, die einen um eine Drehachse rotierbar gelagerten Anker der elektrischen Maschine von außen umgeben, der mehrere rotationssymmetrisch um die Drehachse angeordnete, durch Nuten voneinander getrennte und in der Rotationsebene liegende Ankerzähne aufweist.

Um das Nutdrehmoment einer solchen elektrischen Maschine entscheidend zu reduzieren, ohne dass es zu einem Leistungsverlust der elektrischen Maschine kommt, schlägt die Erfindung ein Verfahren zum Bestimmen der Abmessungen der Magnete einer elektrischen Maschine der oben genannten Art vor, wonach

- die Magnete jeweils in einen Mittelbereich mit einer konstanten Magnetdicke und Flankenbereiche unterteilt werden, wobei der Mittelbereich in tangentialer Richtung zu beiden Seiten jeweils in einen Flankenbereich übergeht, der zu seinem äußeren Ende hin eine abnehmende Magnetdicke aufweist,
- anhand der Abmessungen des Ankers und des Luftspalts zwischen der Außenkante des Ankers und der Innenkante eines Statorjochs der elektrischen Maschine die Magnetdicke, d. h. der Innenradius und der Außenradius der Kreisbogenlinien des Mittelbereichs bestimmt werden,
- ein Mittelbereichswinkel, der durch zwei imaginäre Grenzlinien eingeschlossen wird, die die Drehachse rechtwinklig schneiden und den Mittelbereich zu den Flankenbereichen hin begrenzen, gleich dem Winkel einer Nutteilung des Ankers oder einem Vielfachen des Winkels einer Nutteilung gewählt wird.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung wird vorgeschlagen, daß, falls der Anker eine ungerade Nutenzahl aufweist, der Mittelbereichswinkel gleich dem Winkel einer halben Nutteilung des Ankers oder einem Vielfachen des Winkels einer halben Nutteilung gewählt wird.

Vorteilhafterweise wird ein Magnetkantenwinkel, der durch die Grenzlinie und eine imaginäre Verbindungslinie eingeschlossen wird, die die Drehachse rechtwinklig schneidet und den Flankenbereich zu seiner Magnetkante hin begrenzt, gleich dem Winkel einer halben Nutteilung des Ankers oder einem Vielfachen des Winkels einer halben Nutteilung gewählt.

Die in radialer Richtung äußere Kante der Flankenbereiche wird vorzugsweise durch eine Verlängerung der Kreisbogenlinie mit dem Außenradius des Mittelbereichs gebildet.

Gemäß einer vorteilhaften Weiterbildung der Erfindung wird vorgeschlagen, daß die in radialer Richtung innere Kante der Flankenbereiche durch eine konkave Kreisbogenlinie mit dem Innenradius, die von einem ersten Punkt zu einem zweiten Punkt verläuft, gebildet wird, wobei der erste Punkt eines Flankenbereichs durch die nachfolgenden Schritte bestimmt wird:

- an dem Schnittpunkt zwischen der Kreisbogenlinie mit dem Radius und der Grenzlinie wird eine Tangente angelegt,
- eine Verbindungslinie wird so weit um die Drehachse verdreht, bis sie die Tangente in einem Schnittpunkt schneidet, so daß der Abstand zwischen dem Schnittpunkt und einem weiteren Schnittpunkt zwischen der Kreisbogenlinie mit dem Außenradius und der Verbindungslinie gleich der Magnetdicke des Mittelbereichs ist,
- der Schnittpunkt zwischen der Kreisbogenlinie mit dem Außenradius und der Verbindungslinie wird um die halbe Magnetdicke auf der Verbindungslinie radial nach innen verschoben und bildet den ersten Punkt,

und wobei der zweite Punkt durch den Schnittpunkt zwischen der Kreisbogenlinie mit dem Innenradius und der Grenzlinie gebildet wird.

Es gibt nun verschiedene Möglichkeiten, die Lehre der vorliegenden Erfindung in vorteilhafter Weise auszugestalten und weiterzubilden. Dazu ist einerseits auf die dem Patentanspruch 1 nachgeordneten Ansprüche, andererseits auf die nachfolgende Erläuterung zweier Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Zeichnung zu verweisen. In Verbindung mit der Erläuterung der bevorzugten Ausführungsbeispiele der Erfindung anhand der Zeichnung werden auch im allgemeinen bevorzugte Ausgestaltungen und Weiterbildungen der beanspruchten elektrischen Maschine erläutert. In der

Zeichnung zeigen:

Fig. 1 eine erfindungsgemäße elektronische Maschine in zweipoliger Ausführung im Querschnitt gemäß einer ersten Ausführungsform; und

Fig. 2 eine erfindungsgemäße elektronische Maschine in zweipoliger Ausführung im Querschnitt gemäß einer zweiten Ausführungsform.

In **Fig. 1** ist eine erfindungsgemäße elektronische Maschine zum Umwandeln von mechanischer in elektrische Energie oder umgekehrt gemäß einer ersten Ausführungsform in ihrer Gesamtheit mit dem Bezugszeichen 1 gekennzeichnet. Die elektrische Maschine 1 umfaßt einen Stator und einen Rotor. Ein Statorjoch 7 und zwei kreisbogenförmige Magnete 3, die an der Innenseite des Statorjochs 7 befestigt sind, sind Bestandteile des Stators. Ein um eine Drehachse 2 rotierbar gelagerter Anker 11 (vgl. **Fig. 2**) ist Bestandteil des Rotors. Aus Gründen der besseren Übersichtlichkeit ist der Anker 11 in **Fig. 1** nicht dargestellt.

Die Magnete 3 bestehen aus einem Hartferrit-Material. Sie weisen jeweils einen Mittelbereich 4 mit einer in radialer Richtung konstanten Magnetdicke H auf. Der Mittelbereich 4 eines jeden Magneten 3 geht in tangentialer Richtung zu beiden Seiten jeweils in einen Flankenbereich 5 über, der zu seinen in tangentialer Richtung äußeren Magnetkanten 6 hin eine abnehmende Magnetdicke h aufweist.

Im Bereich der Flanken 5 weisen die Magnete 3 einen Abstand 8 zu dem Statorjoch 7 auf. Dieser Abstand 8 führt bei der erfindungsgemäßen elektrischen Maschine 1 zu einer Reduzierung des Nutdrehmoments.

Der Mittelbereich 4 der Magnete 3 wird zu den Flankenbereichen 5 hin durch imaginäre, die Drehachse 2 rechtwinklig schneidende Grenzlinien 9 begrenzt. Die Grenzlinien 9 jeweils eines Magneten 3 schließen einen Mittelbereichswinkel Ψ ein. Um eine optimale Reduzierung des Nutdrehmoments zu ermöglichen, ist der Mittelbereichswinkel Ψ abhängig von der Anzahl der Nuten des Ankers 11 zu wählen. Wie der Mittelbereichswinkel Ψ genau zu wählen ist, wird anhand von **Fig. 2** beschrieben.

Die Magnete 3 weisen im Mittelbereich 4 einen Außenradius R und einen Innenradius r auf. Von den Magnetkanten 6 zu der Drehachse 2 verlaufen imaginäre Verbindungslinien 10. Die Verbindungslinie 10 und die Grenzlinie 9 jeweils eines Flankenbereichs 5 schließen einen Magnetkantenwinkel β ein. Der Magnetkantenwinkel β ist abhängig von dem Außenradius R und dem Innenradius r der Mittelbereiche 4 der Magnete 3 zu wählen. Der maximale Magnetkantenwinkel β_{\max} ergibt sich aus der Gleichung:

$$\beta_{\max} = \arccos \left(\frac{1}{2 - \frac{r}{R}} \right) = \beta_1 + \beta_2$$

(vgl. Fig. 2) und der minimale Magnetkantenwinkel β_{\min} aus der Gleichung:

$$\beta_{\min} = \frac{1}{2} \cdot \arccos \left(\frac{1}{2 - \frac{r}{R}} \right) = \beta_1$$

(vgl. Fig. 2).

In Fig. 2 ist ein Ausschnitt einer erfindungsgemäßen elektrischen Maschine 1 gemäß einer zweiten Ausführungsform dargestellt. Soweit in Fig. 2 die gleichen Bauteile wie in Fig. 1 dargestellt sind, werden übereinstimmende Bezugszeichen verwendet.

In Fig. 2 ist der um die Drehachse 2 rotierbar gelagerte Anker 11 der elektrischen Maschine 1 dargestellt. Der Anker 11 weist acht rotationssymmetrische um die Drehachse 2 angeordnete, durch Nuten 12 voneinander getrennte und in der Rotationsebene liegende Ankerzähne 13 auf. Die kreisbogenförmigen Magnete 3 sind äquidistant zu der Drehachse 2 um den Anker 11 herum angeordnet. Der Abstand 8 ist in Fig. 2 zwischen den Innenkanten der Flankenbereiche 5 der Magnete 3 und der Außenkante des Ankers 11 ausgebildet.

Um eine optimale Reduzierung des Nutdrehmoments zu ermöglichen, ist der Mittelbereichswinkel Ψ bei elektrischen Maschinen 1 mit einem Anker 11 mit gerader Nutenzahl (in dem Ausführungsbeispiel aus Fig. 2 beträgt die Nutenzahl $N = 8$) gleich einer Nutteilung oder einem Vielfachen einer Nutteilung.

Bei dem Ausführungsbeispiel aus Fig. 2 ist der Mittelbereichswinkel Ψ gleich dem Zweifachen einer Nutteilung ($\Psi = 360^\circ \cdot 2/8 = 90^\circ$).

Um eine optimale Reduzierung des Nutdrehmoments der erfindungsgemäßen elektrischen Maschine 1 zu ermöglichen, ist der Magnetkantenwinkel β gleich einer halben Nutteilung des Ankers 11 oder einem Vielfachen einer halben Nutteilung zu wählen.

Bei dem maximalen Magnetkantenwinkel $\beta_{\max} = \beta_1 + \beta_2$ haben die Flankenbereiche 5 der Magnete 3 die geringste Magnetdicke h , nämlich die halbe Magnetdicke H der Mittelbereiche 4 der Magnete 3 ($h(\beta = \beta_{\max}) = H/2$).

Anhand von Beispielswerten ($r = 14,8$ mm, $R = 19$ mm) lassen sich die Grenzen β_{\max} und β_{\min} für den Magnetkantenwinkel β berechnen. Für den maximalen Magnetkantenwinkel ergibt sich

$$\beta_{\max} = \arccos \left(\frac{1}{2 - \frac{14,8}{19}} \right) = \arccos(0,82) = 35^\circ$$

und für den minimalen Magnetkantenwinkel ergibt sich $\beta_{\min} = 1/2 \cdot \beta_{\max} = 1/2 \cdot 35^\circ = 17,5^\circ$.

In Fig. 2 entspricht $\beta_{\min} = \beta_1$ und $\beta_{\max} = \beta_1 + \beta_2$. Um eine besonders wirkungsvolle Reduzierung des Nutdrehmoments zu bewirken, ist der Magnetkantenwinkel β gleich einer halben Nutteilung gewählt worden. Somit gilt in dem vorliegenden Beispiel für den Magnetkantenwinkel $\beta = 180^\circ/N = 180^\circ/8 = 22,5^\circ$.

An den Magnetkanten 6 der in tangentialer Richtung äußeren Enden der Flankenbereiche 5 ist die Magnetdicke h bei dem maximalen Magnetkantenwinkel β_{\max} gleich der halben Magnetdicke H der Mittelbereiche 4 der Magnete 3 ($h(\beta = \beta_{\max}) = H/2$).

Die Mittelbereiche 4 der Magnete 3 werden radial nach außen durch eine Kreisbogenlinie 14 mit dem Außenradius R und radial nach innen durch eine Kreisbogenlinie 22 mit dem Innenradius r begrenzt.

Die Flankenbereiche 5 der erfindungsgemäßen elektrischen Maschine 1 sind radial nach außen durch die Verlängerung der Kreisbogenlinie 14 mit dem Außenradius R der Mittelbereiche 4 begrenzt. Radial nach innen sind die Flankenbereiche 5 durch eine konkave Kreisbogenlinie 15 mit dem Radius r begrenzt. Der Radius r der konkaven Kreisbogenlinie 15 ist gleich dem Innenradius r des Mittelbereichs 4. Die konkave Kreisbogenlinie 15 verläuft von einem ersten Punkt 16 zu einem zweiten Punkt 17. Der erste Punkt 16 ergibt sich, indem ein Schnittpunkt zwischen der Verlängerung der Kreisbogenlinie 14 mit dem Außenradius R und der Verbindungslinie 21 bei dem maximalen Magnetkantenwinkel β_{\max} auf der Verbindungslinie 21 um die halbe Magnetdicke H der Mittelbereiche 4 radial nach innen verschoben wird. Der zweite Punkt 17 ergibt sich aus dem Schnittpunkt der Kreisbogenlinie 22 mit dem Innenradius r und der Grenzlinie 9. Die Mittelpunkte der beiden in Fig. 2 dargestellten konkaven Kreisbogenlinien 15 sind mit 18 bezeichnet. In tangentialer Richtung werden die Flankenbereiche 5 durch die Magnetkanten 6 der äußeren Enden 6 begrenzt. Die Kontur der Magnetkanten 6 ist dreieckförmig ausgebildet.

Zur Optimierung der Magnete 3 einer elektrischen Maschine 1 abhängig von den Abmessungen des Ankers 11 sind die folgenden Schritte durchzuführen:

- Festlegen der Abmessungen des Ankers 11
- Festlegen des Mittelbereichs 4 der Magnete 3.

Mit bekanntem Luftspalt und gegebener Magnetdicke H sind der Außenradius R und der Innenradius r der Magnete 3 festgelegt. Der Außenradius R ist über den gesamten Polwinkel ($\Psi + 2 \cdot \beta$) der Magnete 3 konstant. Der Mittelbereich 4

ist durch die konstante Magnetdicke H gegeben. Der Innenradius r ist deshalb nur im Mittelbereich 4 der Magnete 3 konstant. In tangentialer Richtung wird der Mittelbereich 4 durch zwei Grenzlinien 9 begrenzt, die zu der Drehachse 2 führen und diese senkrecht schneiden. Der Mittelbereichswinkel Ψ , den die beiden Grenzlinien 9 einschließen, muss bei gerader Nutenzahl gleich dem Winkel einer Nutteilung des Ankers 11 oder einem Vielfachen davon sein.

5

c) Festlegen des möglichen Bereichs, in dem die Magnetkanten 6 eines in tangentialer Richtung äußeren Endes eines Flankenbereichs 5 liegen.

Führt man die Kreisbogenlinie 14 mit dem Außenradius R der Mittelbereiche 4 an der Grenzlinie 9 als eine Gerade weiter, d. h. man legt an der Kreisbogenlinie 14 mit dem Außenradius R eine Tangente 19 senkrecht zu der Grenzlinie 9 an, ergibt sich ein Schnittpunkt 20 mit einer imaginären Kreisbogenlinie um die Drehachse 2 mit einem Radius R' , der gleich dem Außenradius R plus der Magnetdicke H ist ($R' = R + H$). Eine Verbindungslinie 21 von diesem Schnittpunkt 20 zur Drehachse 2 und die Grenzlinie 9 des Flankenbereichs 5 schließen den maximalen Magnetkantenwinkel β_{\max} ein. Der Schnittpunkt zwischen der Kreisbogenlinie 14 mit dem Außenradius R und der Verbindungslinie 21 ergibt die äußere mögliche Ecke des zu bestimmenden Bereichs, in dem die Magnetkanten 6 der Flankenbereiche 5 liegen dürfen. Die Magnetdicke h an dieser Ecke ist gleich der halben maximalen Magnetdicke H der Mittelbereiche 4. Damit liegt auch die innere mögliche Ecke 16 der Magnete 3 fest.

Es fehlt noch die Innenkontur der Magnete 3 im Bereich der Flanken 5 zwischen diesem ermittelten Punkt 16 und dem Schnittpunkt 17 zwischen der Kreisbogenlinie 22 mit dem Innenradius r und der Grenzlinie 9. Durch beide Punkte 16, 17 wird eine konkave Kreisbogenlinie 15 mit dem Radius r gelegt. Damit liegt die mögliche Kontur der Magnete 3 fest.

20

d) Festlegen der optimalen Verläufe der Magnetkanten 6 an den in tangentialer Richtung äußeren Enden der Flankenbereiche 5.

An den Flankenbereichen 5 geht die Flussdichte wegen des größer werdenden Abstands 8 zwischen der Außenkante des Ankers 11 und den Innenkanten der Flankenbereiche 5 der kreisbogenförmigen Magnete 3 zurück. Die damit verbundene Schwächung des magnetischen Flusses soll möglichst gering bleiben. Aus diesem Grund wird der Magnetkantenwinkel β so gewählt, daß er dem Winkel einer halben Nutteilung entspricht. Die Ausbildung der Kontur der Magnetkanten 6 der Flankenbereiche 5 hat nur einen geringen Einfluß auf das Nutdrehmoment oder auf den magnetischen Fluß der elektrischen Maschine 1. Durch eine besondere Ausbildung der Magnetkanten 6 der äußeren Enden der Flankenbereiche 5 können aber Vorteile bei der Herstellung und der Befestigung der Magnete 3 erzielt werden. Die Magnetkanten 6 dürfen jedenfalls nicht außerhalb des festgelegten Bereichs (schraffierter Bereich in Fig. 2) verlaufen, da es sonst zu einer Verschlechterung des magnetischen Flusses oder einer Erhöhung des Nutdrehmoments der elektrischen Maschine 1 kommen kann. Eine optimale Reduzierung des Nutdrehmoments ist insbesondere mit Magneten 3 zu erreichen, deren Magnetkanten 6 der Flankenbereiche 5 spiegelbildlich zueinander ausgebildet sind.

35

Bezugszeichenliste

- 1 elektrische Maschine
- 40 2 Drehachse
- 3 Magnet
- 4 Mittelbereich
- 5 Flankenbereich
- 6 Magnetkante
- 45 7 Statorjoch
- 8 Abstand
- 9 Grenzlinie
- 10 Verbindungslinie
- 11 Anker
- 50 12 Nut
- 13 Ankerzahn
- 14 Kreisbogenlinie mit Radius R
- 15 konkave Kreisbogenlinie mit Radius r
- 16 erster Punkt
- 55 17 zweiter Punkt
- 18 Mittelpunkt
- 19 Tangente
- 20 Schnittpunkt
- 21 Verbindungslinie bei β_{\max}
- 60 22 Kreisbogenlinie mit Radius r

Patentansprüche

1. Elektrische Maschine (1) zum Umwandeln mechanischer in elektrische Energie oder umgekehrt, mit einem um eine Drehachse (2) rotierbar gelagerten Anker (11), der mehrere rotationssymmetrisch um die Drehachse (2) angeordnete, durch Nuten (12) voneinander getrennte und in der Rotationsebene liegende Ankerzähne (13) aufweist, und mit einem Stator, der kreisbogenförmige Magnete (3) aufweist, die den Anker (11) von außen umgeben, dadurch gekennzeichnet, dass die Magnete (3) jeweils einen Mittelbereich (4) mit einer konstanten Magnetdicke (H)

aufweisen, der in tangentialer Richtung zu beiden Seiten jeweils in einen Flankenbereich (5) übergeht, der zu seinem äußeren Ende (6) hin eine abnehmende Magnetdicke (h) aufweist, und dass die Mittelbereiche (4) der Magnete (3) jeweils zu den Flankenbereichen (5) hin durch imaginäre, die Drehachse (2) rechtwinklig schneidende Grenzlinien (9) begrenzt sind, die einen Mittelbereichswinkel (Ψ) einschließen, der gleich dem Winkel einer Nutteilung des Ankers (11) oder einem Vielfachen des Winkels einer Nutteilung ist.

2. Elektrische Maschine (1) nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass der Anker (11) eine ungerade Nutenzahl aufweist und dass die Grenzlinien (9) einen Mittelbereichswinkel (Ψ) einschließen, der gleich dem Winkel einer halben Nutteilung des Ankers (11) oder einem Vielfachen des Winkels einer halben Nutteilung ist.

3. Elektrische Maschine (1) nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass sich die Abnahme der Magnetdicke (h) der Flankenbereiche (5) aus einer Vergrößerung des Abstands (8) in radialer Richtung zwischen der Außenkante des Ankers (11) und den Innenkanten der Magnete (3) ergibt.

4. Elektrische Maschine (1) nach Anspruch 3, dadurch gekennzeichnet, dass die Magnete (3) im Mittelbereich (4) einen Außenradius (R) und einen Innenradius (r) aufweisen, dass die Flankenbereiche (5) zu den in tangentialer Richtung äußeren Enden (6) hin durch imaginäre, die Drehachse (2) rechtwinklig schneidende Verbindungslinien (10) begrenzt sind, und dass die Grenzlinie (9) und die Verbindungslinie (10) jeweils eines Flankenbereichs (5) einen Magnetkantenwinkel (β) einschließen, für den gilt:

5. Elektrische Maschine (1) nach Anspruch 4, dadurch gekennzeichnet, dass der Magnetkantenwinkel (β) gleich dem Winkel einer halben Nutteilung des Ankers (11) oder einem Vielfachen des Winkels einer halben Nutteilung ist.

6. Elektrische Maschine (1) nach Anspruch 4 oder 5, dadurch gekennzeichnet, dass die Magnetdicke (h) der Magnete (3)

$$\beta_{\max} \geq \beta \geq \beta_{\min},$$

mit $\beta_{\max} = \arccos \left\{ \frac{1}{2 - \frac{r}{R}} \right\}$ und

$$\beta_{\min} = \frac{1}{2} \cdot \arccos \left\{ \frac{1}{2 - \frac{r}{R}} \right\}$$

an den in tangentialer Richtung äußeren Enden (6) der Flankenbereiche (5) bei dem maximalen Magnetkantenwinkel (β_{\max}) gleich der halben Magnetdicke (H) der Mittelbereiche (4) der Magnete (3) ist.

7. Elektrische Maschine (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 6, dadurch gekennzeichnet, dass die Flankenbereiche (5) der Magnete (3) radial nach außen durch die Verlängerung der Kreisbogenlinie (14) mit dem Außenradius (R) der Mittelbereiche (4) begrenzt sind.

8. Elektrische Maschine (1) nach Anspruch 7, dadurch gekennzeichnet, dass die Flankenbereiche (5) der Magnete (3) radial nach innen durch konkave Kreisbogenlinien (15) mit dem Radius (r) begrenzt sind, der gleich dem Innenradius (r) der Mittelbereiche (4) der Magnete (3) ist, die von einem ersten Punkt (16) zu einem zweiten Punkt (17) verlaufen, wobei sich der erste Punkt (16) ergibt durch Verschieben eines Schnittpunkts zwischen der Verlängerung der Kreisbogenlinie (14) mit dem Außenradius (R) und einer Verbindungslinie (21) bei dem maximalen Magnetkantenwinkel (β_{\max}) auf der Verbindungslinie (21) um die halbe Magnetdicke (H) der Mittelbereiche (4) radial nach innen und wobei sich der zweite Punkt (17) aus dem Schnittpunkt der Kreisbogenlinie (22) mit dem Innenradius (r) und der Grenzlinie (9) ergibt.

9. Elektrische Maschine (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Kontur der Magnetkanten (6) der Flankenbereiche (5) dreiecksförmig ausgebildet ist.

10. Elektrische Maschine (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 8, dadurch gekennzeichnet, dass die Kontur der Magnetkanten (6) der Flankenbereiche (5) kreisbogenförmig ausgebildet ist.

11. Elektrische Maschine (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 10, dadurch gekennzeichnet, dass die Flankenbereiche (5) eines Magneten (3) spiegelsymmetrisch zueinander ausgebildet sind.

12. Elektrische Maschine (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die elektrische Maschine als Elektromotor ausgebildet ist.

13. Elektrische Maschine (1) nach Anspruch 12, dadurch gekennzeichnet, dass der Elektromotor als ein Fensterherbomotor für den Einsatz in Kraftfahrzeugen ausgebildet ist.

14. Elektrische Maschine (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 11, dadurch gekennzeichnet, dass die elektrische Maschine als Generator ausgebildet ist.

15. Elektrische Maschine (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Magnete (3) aus Hartferrit-Material bestehen.

16. Elektrische Maschine (1) nach einem der Ansprüche 1 bis 14, dadurch gekennzeichnet, dass die Magnete (3) aus Seltenerde-Material bestehen.

17. Verfahren zum Bestimmen der Abmessungen von kreisbogenförmigen Magneten (3) des Stators einer elektrischen Maschine (1), die einen um eine Drehachse (2) rotierbar gelagerten Anker (11) der elektrischen Maschine (1) von außen umgeben, der mehrere rotationssymmetrisch um die Drehachse (2) angeordnete, durch Nuten (12) voneinander getrennte und in der Rotationsebene liegende Ankerzähne (13) aufweist, dadurch gekennzeichnet, dass

- die Magnete (3) jeweils in einen Mittelbereich (4) mit einer konstanten Magnetdicke (H) und Flankenbereiche (5) unterteilt werden, wobei der Mittelbereich (4) in tangentialer Richtung zu beiden Seiten jeweils in

nen Flankenbereich (5) übergeht, der zu seinem äußeren Ende (6) hin eine abnehmende Magnetdicke (h) aufweist,

- anhand der Abmessungen des Ankers (11) und des Abstands (8) zwischen der Außenkante des Ankers (11) und der Innenkante eines Statorjochs (7) der elektrischen Maschine (1) die Magnetdicke (H), d. h. der Innenradius (r) und der Außenradius (R) der Kreisbogenlinien (22, 14) des Mittelbereichs (4) bestimmt werden,
- ein Mittelbereichswinkel (Ψ), der durch zwei imaginäre Grenzlinien (9) eingeschlossen wird, die die Drehachse (2) rechtwinklig schneiden und den Mittelbereich (4) zu den Flankenbereichen (5) hin begrenzen, gleich dem Winkel einer Nutteilung des Ankers (11) oder einem Vielfachen des Winkels einer Nutteilung gewählt wird.

18. Verfahren nach Anspruch 17, dadurch gekennzeichnet, daß, falls der Anker (11) eine ungerade Nutenzahl aufweist, der Mittelbereichswinkel (Ψ) gleich dem Winkel einer halben Nutteilung des Ankers (11) oder einem Vielfachen des Winkels einer halben Nutteilung gewählt wird.

19. Verfahren nach Anspruch 18, dadurch gekennzeichnet, daß ein Magnetkantenwinkel (β), der durch die Grenzlinie (9) und eine imaginäre Verbindungslinie (10) eingeschlossen wird, die die Drehachse (2) rechtwinklig schneidet und den Flankenbereich (5) zu seinem in tangentialer Richtung äußeren Ende (6) hin begrenzt, gleich dem Winkel einer halben Nutteilung des Ankers (11) oder einem Vielfachen des Winkels einer halben Nutteilung gewählt wird.

20. Verfahren nach Anspruch 19, dadurch gekennzeichnet, daß die in radialer Richtung äußere Kante der Flankenbereiche (5) durch eine Verlängerung der Kreisbogenlinie (14) mit dem Außenradius (R) des Mittelbereichs (4) bestimmt wird.

21. Verfahren nach Anspruch 20, dadurch gekennzeichnet, daß die in radialer Richtung innere Kante der Flankenbereiche (5) durch eine konkave Kreisbogenlinie (15) mit dem Innenradius (r), die von einem ersten Punkt (16) zu einem zweiten Punkt (17) verläuft, bestimmt wird, wobei der erste Punkt (16) eines Flankenbereichs (5) durch die nachfolgenden Schritte bestimmt wird:

- an dem Schnittpunkt zwischen der Kreisbogenlinie (14) mit dem Radius (R) und der Grenzlinie (9) wird eine Tangente (19) angelegt,
- eine Verbindungslinie (21) wird so weit um die Drehachse (2) verdreht, bis sie die Tangente (19) in einem Schnittpunkt (20) schneidet, so daß der Abstand zwischen dem Schnittpunkt (20) und einem weiteren Schnittpunkt zwischen der Kreisbogenlinie (14) mit dem Außenradius (R) und der Verbindungslinie (21) gleich der Magnetdicke (H) des Mittelbereichs (4) ist,
- der Schnittpunkt zwischen der Kreisbogenlinie (14) mit dem Außenradius (R) und der Verbindungslinie (21) wird um die halbe Magnetdicke (H) auf der Verbindungslinie (21) radial nach innen verschoben und bildet den ersten Punkt (16),

und wobei der zweite Punkt (17) durch den Schnittpunkt zwischen der Kreisbogenlinie (22) mit dem Innenradius (r) und der Grenzlinie (9) gebildet wird.

Hierzu 2 Seite(n) Zeichnungen

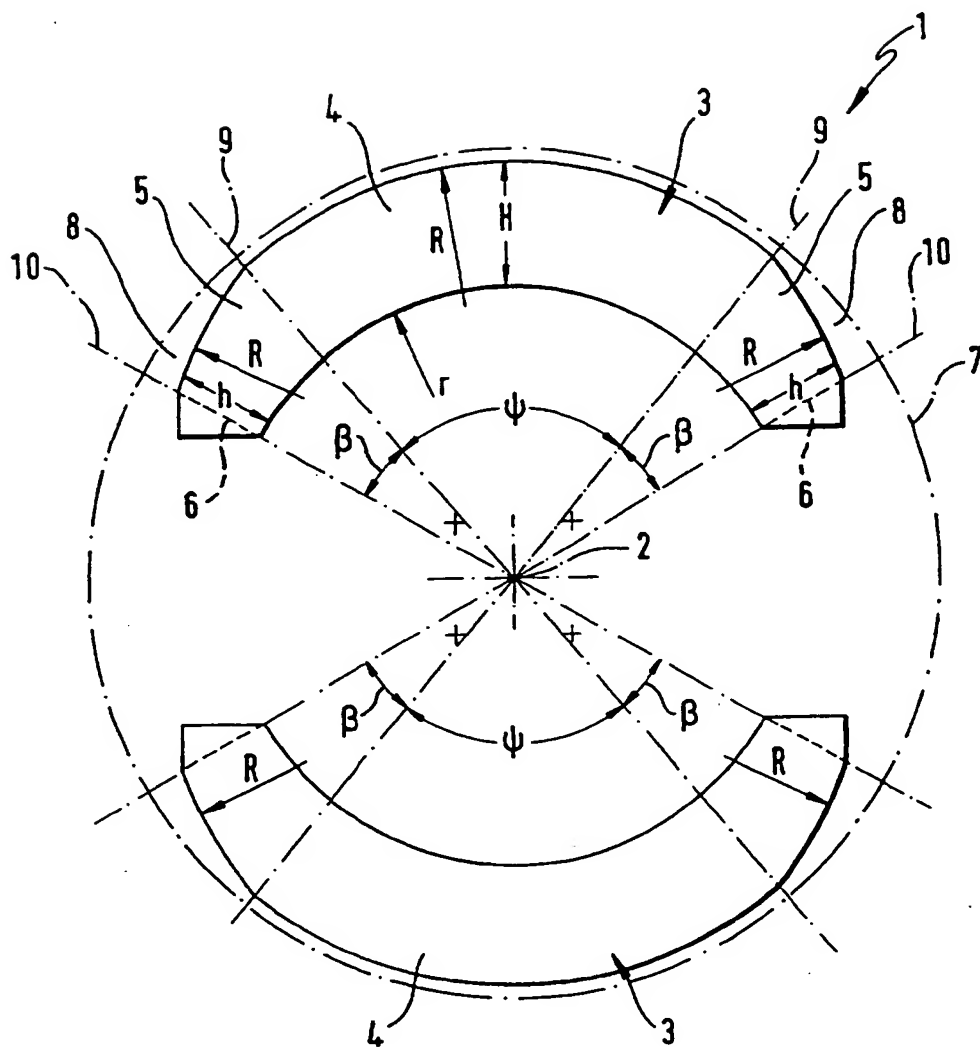


Fig. 1

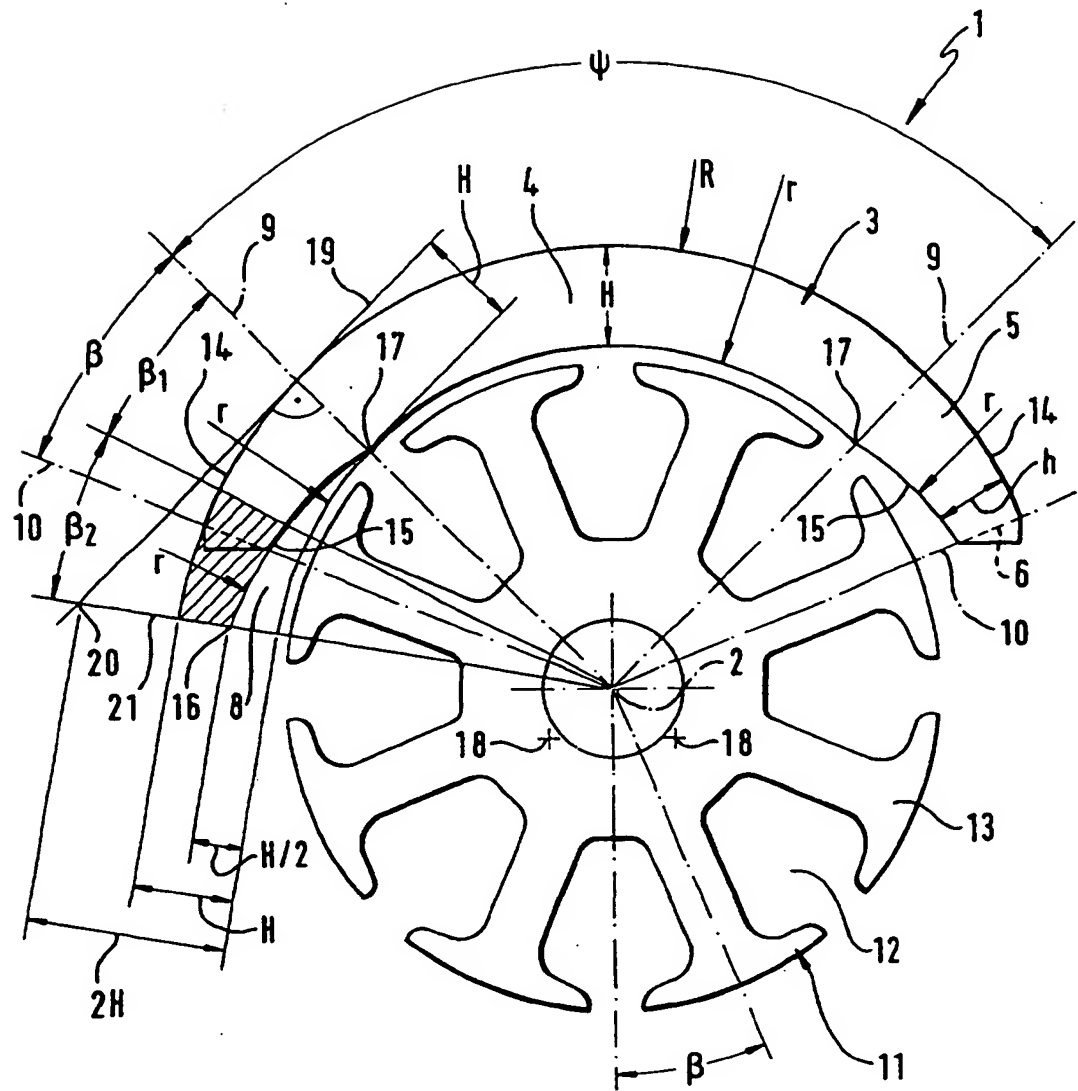


Fig. 2